

Električni šum in elektronski izvori šuma

Matjaž Vidmar, S53MV

1. Šum kot električni signal

Popolnoma naključni električni signal običajno imenujemo beli šum enostavno zato, ker zvočna oblika takšnega signala tudi ustreza šumenju... Šum običajno smatramo kot škodljiv pojav, saj omejuje občutljivost in s tem domet naših radijskih postaj. Po drugi strani pa je šum in še posebno beli šum zelo uporaben kot merilni signal, saj je običajno dosti boljši nadomestek resničnih signalov od raznih signal-generatorjev in podobnih naprav.

Nenazadnje je izdelava šumnega izvora dosti bolj enostavna od izdelave pravega signal-generatorja. To se seveda pozna tudi pri ceni izdelka. Na primer, cena profesionalnega šumnega izvora, umerjenega na 0.01dB natančno do 18GHz, znaša komaj nekaj tisoč dolarjev, cena enakovrednega signal-generatorja pa je vsaj desetkrat do tridesetkrat višja!

Za nas radioamaterje je šumni generator zanimiv zato, ker ga je enostavno izdelati doma. Na izhodu daje signal, ki pokriva celoten radijski frekvenčni spekter, se pravi nam ni treba graditi posebnih merilnih instrumentov za vsako frekvenčno področje posebej. Jakost signala na izhodu šumnega izvora je primerljiva z občutljivostjo naših sprejemnikov, zato šumni izvor ne potrebuje posebnega oklapljanja niti umerjenih slabilcev na izhodu, kar vse potrebujemo v običajnem signal-generatorju.

Matematična definicija belega šuma je signal, v katerem so vse frekvenčne komponente zastopane enako, od nič do neskončno visoke frekvence. Takšen signal v praksi seveda ne obstaja, saj bi moral imeti neskončno veliko moč. Zato se v praksi zadovoljimo z izvori, ki proizvajajo šum v določenem frekvenčnem spektru, na primer celotnem radijskem spektru frekvenc.

Če izvor šuma uporabljamo kot merilni instrument, potem je treba najprej določiti jakost takšnega izvora oziroma njegovo izhodno moč. Pri šumnem izvoru to ni ravno najbolj enostavno, saj je izhodna moč majhna in jo je težko točno izmeriti v celotnem frekvenčnem področju. Zato jakost šumnega izvora običajno opišemo z ekvivalentno šumno temperaturo ($T_{\text{š}}$). To je temperatura (merjena od absolutne ničle), na katero bi morali segreti čisto navaden upor, da bi zaradi toplotnega gibanja naelektrenih delcev v samem uporu ta proizvajal na svojih priključnih sponkah enako šumno moč.

Koliko šumne moči bomo dobili iz takšnega izvora je seveda odvisno od frekvenčnega področja, v katerem merimo šumno moč. Bolj točno, ker je izhodna moč izvora belega šuma enakomerno porazdeljena po celotnem radijskem frekvenčnem območju, izmerjena moč je odvisna le od širine frekvenčnega področja, v katerem merimo šumno moč ($P_{\text{š}}$).

Povezava med šumno temperaturo in šumno močjo je enostavna in je prikazana na sliki 1. Šumno moč dobimo, če šumno temperaturo pomnožimo s pasovno širino našega

merilnika moči in to je običajno kar pasovna širina medfrekvenčnega sita našega sprejemnika. Rezultat je treba zaradi različnih merskih enot pomnožiti še z ustrežno fizikalno konstanto, ki je v tem slučaju kar Boltzmannova konstanta.

$$P_{\text{š}} = k_B \cdot T_{\text{š}} \cdot \Delta f$$

$$k_B = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Ws / } ^\circ\text{K} \dots\dots \text{ Boltzmannova konstanta}$$

$$T_{\text{š}} = \text{temperatura šuma (v stopinjah } ^\circ\text{K)}$$

$$\Delta f = \text{pasovna širina sprejemnika (v Hz)}$$

Slika 1 - Moč šuma

2. Elektronski izvori šuma

Ko gradimo merilni izvor signala, se najprej vprašamo, kako močen izhodni signal sploh potrebujemo. Za meritve na sprejemnikih potrebujemo izvor zelo šibkega signala, za meritve anten in izhodnih stopenj oddajnikov pa dosti močnejši izvor. Šumni generatorji običajno spadajo v razred zelo šibkih izvorov signala, primernih za merjenje občutljivosti sprejemnikov.

Najenostavnejši izvor šuma je katerikoli upor, ki ga segrejemo na določeno temperaturo. Šumno moč takšnega izvora lahko izredno natančno umerimo, z merjenjem temperature upora. Takšen šumni izvor je sicer idealen za natančno merjenje občutljivosti sprejemnikov, za večino meritev pa je razpoložljiva šumna moč premajhna, saj je njen velikostni razred naravnost primerljiv s šumom uporov, polprevodnikov in drugih sestavnih delov vezja. Šumne moči upora tudi ne moremo kaj bistveno povečati s segrevanjem upora, saj bi za desetkratno povečanje morali segreti upor kar na 3000K!

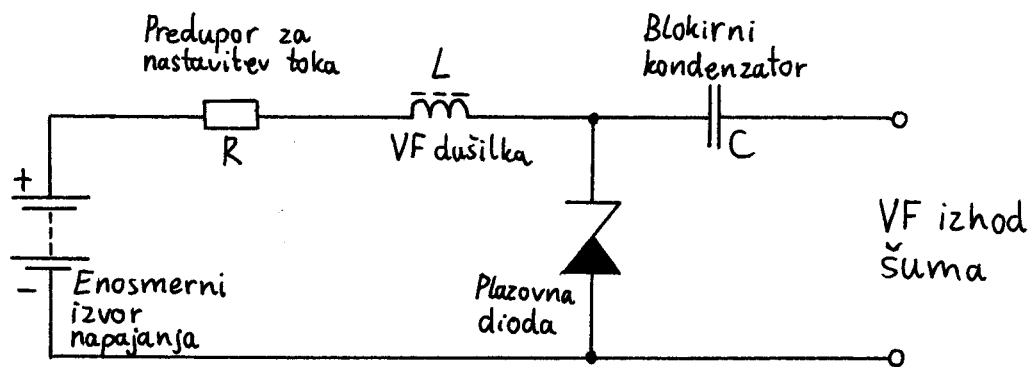
V cevni tehniki so najprej izdelali šumni generator z vakuumsko diodo. Delovanje takšnega šumnega izvora je osnovano na načelu, da tok elektronov v diodi ni povsem enakomeren. Ker se da iz povprečne vrednosti enosmernega toka skozi vakuumsko diodo naravnost izračunati izhodni šumni tok takšnega izvora, je umerjanje izhodne moči enostavno. Zaradi tehnologije izdelave elektronk je frekvenčno področje takšnega šumnega izvora omejeno na nekaj sto MHz.

Za višje frekvence, predvsem za mikrovalove, so se uporabljale posebne, s plinom polnjene diode. Osnova delovanja takšnega šumnega izvora je v tem, da je ioniziran plin znotraj diode (te diode so podobne nizkotlačnim fluorescentnim žarnicam) električni prevodnik, torej upor, segret na zelo visoko temperaturo nekaj deset-tisoč stopinj K. Izhodna šumna moč takšnega izvora je zato 30-krat do 100-krat večja od šumne moči upora na sobni temperaturi.

V polprevodnikih imamo celo vrsto fizikalnih pojavov, ki proizvajajo tudi električni šum. Večina pojavov sicer proizvaja šum, ki je po jakosti primerljiv s šumom upora, torej neuporaben za izdelavo šumnega izvora, zato pa so polprevodniki zelo primerni za gradnjo vhodnih stopenj sprejemnikov. Izjema je plazovni preboj v diodi: ta "proizvaja" zelo veliko šuma, običajno nekje med deset-tisočkrat in sto-tisočkrat več od upora! Takšne diode so torej zelo primerne za gradnjo šumnih izvorov, žal pa ne obstaja nobena enostavna fizikalna povezava in je treba vsak takšen polprevodniški šumni generator posebej umeriti, če želimo točno poznati njegovo izhodno moč oziroma šumno temperaturo.

V polprevodniških diodah sicer obstajata dva mehanizma prevajanja v zaporni smeri: Zenerjev (tunelski) pojav in plazovni preboj. Za razliko od plazovnega preboja Zenerjev pojav ne proizvaja dosti šuma. V silicijevih zener diodah prevladuje Zenerjev pojav pri napetostih nižjih od približno 6V in plazovni preboj pri napetostih višjih od približno 6V. Pri napetostih okoli 6V, odvisno od tehnologije izdelave diode, soobstajata oba pojava. Na kratko, zener diode za napetosti pod 6V ne proizvajajo kaj dosti več šuma od uporov, zener diode za napetosti nad 6V (v resnici so to plazovne diode!) pa proizvajajo zelo veliko šuma, seveda samo takrat, ko je na diodi ustrezna napetost ter skozi diodo teče tok plazovnega preboja.

Šumni izvor s plazovno diodo je zelo enostavna naprava, kot je to prikazano na sliki 2. S preduporom R nastavimo enosmerni tok skozi diodo, z visokofrekvenčno dušilko L in blokirnimi kondenzatorjem C pa ločimo enosmerno napajanje in izhodni visokofrekvenčni signal. Profesionalni šumni izvori običajno uporabljajo silicijevo plazovno (zener) diodo za 18V, ki ob primerni konstrukciji izvora daje na izhodu konstanten nivo šuma v frekvenčnem področju od nekaj MHz pa do preko 20GHz, s šumno temperaturo okoli milijon stopinj K!

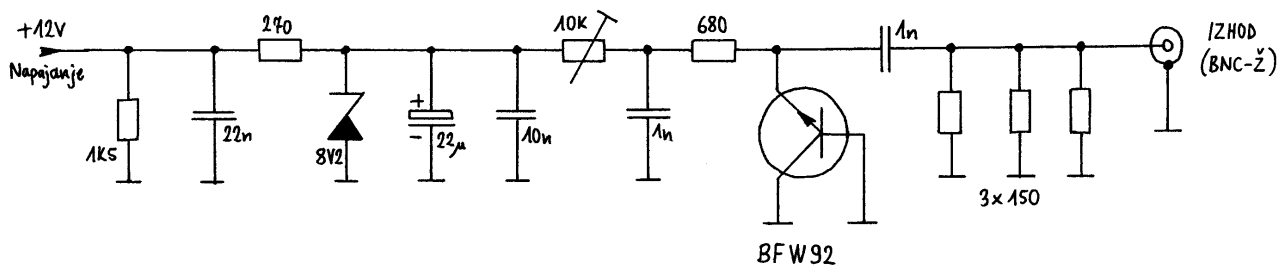


Slika 2 - Osnovni načrt šumnega izvora s plazovno diodo

Končno lahko kot izvor šuma uporabimo tudi katerikoli ojačevalnik. Šum na izhodu polprevodniških ojačevalnikov je ponavadi v velikostnem razredu toplotnega šuma pri sobni temperaturi, pomnoženega seveda z ojačanjem ojačevalnika. Ojačevalnik lahko sicer uporabimo tudi za ojačanje šuma nekega drugega šumnega izvora. Slaba lastnost ojačevalnikov kot šumnih izvorov je seveda ta, da je ojačanje in s tem jakost šuma na izhodu običajno močno odvisna od frekvence in motilnih vplivov, kar za meritve res ni zaželeno.

3. Praktična izdelava šumnega izvora

Praktična izvedba amaterskega šumnega izvora je prikazana na sliki 3 in vsebuje še nekaj dodatnih sestavnih delov. Predvsem je tu potrebna stabilizacija napajalne napetosti, da se tok skozi plazovno diodo in s tem izhodna šumna moč čim manj spreminjata. To je zelo pomembno za primerjalne meritve. Izhod izvora je grobo prilagojen tako, da je vzporedno z izhodom priključen primeren upor, ki izboljšuje prilagoditev izvora v obeh slučajih: ko je izvor prižgan in ko je izvor ugasnjen.



Slika 3 - Praktična izvedba šumnega izvora

Kot šumna dioda je uporabljen obratno polariziran BE spoj visokofrekvenčnega tranzistorja BFW92 zato, ker imajo ti tranzistorji majhne parazitne kapacitivnosti. Ker je prebojna napetost BE spoja komaj 5 do 6V, takšna dioda ne dela popolnoma v plazovnem režimu in ne daje največje možne šumne moči na izhodu. Kljub temu se s tako diodo da doseči šumno temperaturo nekaj stotisoč stopinj, kar je za vse naše meritve povsem dovolj.

Jakost izhodnega signala - šuma lahko sicer nastavimo tudi s tokom skozi plazovno diodo s trimerjem 10kohm. Z rastočim tokom skozi plazovno diodo se šum na izhodu povečuje le do določene meje, pri se večjih tokovih pa se začne šum spet manjšati. Namesto VF dušilke je v opisanem vezju vgrajen upor 680ohm, saj je težko izdelati dobro visokofrekvenčno dušilko za zelo široko frekvenčno področje. Isti upor tudi omejuje največji tok skozi plazovno diodo na varno vrednost. Zener dioda 8V2 služi v tem vezju le za stabilizacijo napajalne napetosti in se ne uporablja kot izvor šuma.

Gornja frekvenčna meja šumnega izvora je odvisna predvsem od uporabljenih sestavnih delov. BE spoj tranzistorja proizvaja zelo močen šum kot plazovna dioda vsaj do 15GHz. Gornja meja je zato odvisna od drugih sestavnih delov, predvsem velikosti in parazitnih kapacitivnosti in induktivnosti uporov, kondenzatorjev in konektorjev. Pri uporabi običajnih sestavnih delov: 1/4W uporov, keramičnih kondenzatorjev in BNC konektorjev, je gornja frekvenčna meja okoli 3GHz. Spodnja frekvenčna meja je odvisna le od vrednosti kondenzatorjev in znaša za opisano vezje nekaj MHz.

Pri merilnem šumnem izvoru običajno zahtevamo tudi to, da je izhodna impedanca čim bližje standardni vrednosti 50ohm. Pri meritvah šumnega števila ojačevalnikov je še bolj važno to, da se impedanca izvora čimmanj spreminja, ko izvor vključimo oziroma izključimo. Impedanca vsakega polvodniškega sestavnega dela se seveda spreminja z enosmernim tokom in isto velja tudi za plazovne diode. Spreminjanje izhodne impedance izvora zmanjšuje upor 50ohm na izhodu, sestavljen iz treh 150ohmskih uporov zaradi čim manjše parazitne induktivnosti. Za meritve in tudi za primerjavo šumnega števila to ni dovolj in v tem slučaju je treba na izhod priključiti še uporovni slabilec.

Profesionalni šumni izvori v merilnikih šumnega števila imajo običajno na izhodu vgrajen 20dB slabilec, ki omogoča v vsakem slučaju prilagoditev boljšo od 40dB. Seveda je tudi izhodna šumna moč takšnega generatorja ustrezno manjša, ampak za meritve šumnega števila je šuma iz izvora običajno še preveč! Amaterji si moramo seveda pomagati s priročnimi sredstvi. Za frekvence do nekaj sto MHz lahko sami izdelamo takšen slabilec iz uporov, za višje frekvence pa je že daljši kos koaksialnega kabla primeren slabilec, le umeriti ga je treba.

4. Uporaba šumnega izvora

Trditev, da lahko uporabimo šumni izvor za uglasovanje sprejemnika, izgleda mogoče na prvi pogled nesmiselna, saj so vse frekvence radijskega spektra enako zastopane v šumu. V resnici je spremenljivk manj: vhodne nihajne kroge sprejemnika z mešanjem lahko uglasimo le na pravo frekvenco ali pa na zrcalno frekvenco. Ker bi že morali vedeti, katera od teh dveh je nižja in katera višja, bomo pri vrtenju trimerja ali jedra

v tuljavi pač izbrali pravi maksimum. Seveda mora imeti sprejemnik svoj S-meter.

Šumni generator je zelo prikladen za meritve ojačanja raznih (antenskih) visokofrekvenčnih ojačevalnikov. Če ima sprejemnik dobro umerjen S-meter, je meritev res enostavna, sicer pa si še vedno lahko pomagamo z zunanjimi slabilci. Najboljša rešitev je seveda poseben merilni sprejemnik z amplitudnim detektorjem in brez avtomatske regulacije ojačanja. Sam sem za to nalogo predelal star dvometerski sprejemnik zato, ker vsi moji transverterji za višja frekvenčna področja uporabljajo dvometersko področje kot medfrekvenco.

Šumni izvor lahko uporabimo tudi za primerjavo šumnega števila različnih antenskih predojačevalcev. Šumni izvor amaterske izdelave ni ravno najbolj primeren za absolutne meritve šumnega števila, saj je doma izdelan izvor treba v ta namen najprej umeriti. Za absolutne meritve šuma predojačevalcev zato rajši uporabimo naravne izvore, kot so šum Zemlje, Sonca ali hladnega neba, vendar o tem več kdaj drugič. Za meritve šumnega števila pa v vsakem slučaju potrebujemo sprejemnik z občutljivim in umerjenim S-metrom oziroma poseben merilni sprejemnik.

Končno ne smemo pozabiti, da imamo kakšenkrat opraviti tudi z nezaželenimi šumnimi diodami. Stabilizator z zener diodo zato ne sodi v isto ohišje malošumnega antenskega predojačevalca. Šum zener diode je lahko tako močen, da bo preko parazitnih kapacitivnosti in induktivnih sklopov prodrl tja, kjer si ga najmanj želimo: v vhodno vezje predojačevalca!

* * * * *